

A LÉGKÖR

AZ IDŐJÁRÁS JELENSÉGEI mindenkor lekötötték az emberiség figyelmét, de olyan általános érdeklődést soha nem keltettek, mint napjainkban. A közönséges társalgásban azelőtt csak gondolathiany miatt szerepelt sokat az időjárás. Ma viszont azért emlegetjük még többet, mert mindennapos gondjainkon kívül a népek nagy ügyeinek sorsa is az időjárás szeszélyeivel fonódik össze. Emellett a legutóbbi esztendők meteorológiai története olyan szélsőségeket halmozott egymás mellé, amelyek békeidőben is mélyen belenyúltak volna az emberiség életébe és kivételességüknél fogva valósággal bámulatot ébresztenek.

Az időjárásról tehát sokat és bőven beszélünk, de ennek ellenére nagyon keveset tudunk róla. A légkörtan (meteorológia) fiatal tudomány és legfontosabb megállapításai még alig mentek át a művelt nagyközönség ismeretkörébe. Pedig a mai légkörkutatásnak már sok olyan mondanivalója van, amely a mindennapi élet emberét is érdekli, sőt meglepheti.

Ezek a meglepetések abból származnak, hogy az időjárás a valóságban egészen más törvényeknek hódol, mint legtöbbször gondolni szoktuk. Az időjárás jelenségei felületesen tekintve egyszerűeknek látszanak, de közelebbről vizsgálva nagyon bonyolultak. Egy-egy mindennapos felhő keletkezéséhez, egy minduntalan fellépő csendes eső kialakulásához olyan szövevényes hidrodinamikai és halmazállapotfizikai folyamatoknak kell a levegőben lejátszódnia, amelyek felett nemrégén még a szak kutatóknak sem volt meg a kellő áttekintésük.

A mindennapos megfigyelés tehát megtéveszt bennünket az időjárás alaptulajdonságai felől. A tudomány egyik legérdekesebb munkája éppen az, hogy a csalóka látszat mögött nem is sejtett valóságokat fedez fel. Így válik a légkörtan az érdekes meglepetések tudományává.

Korunk egyik kiváló meteorológusa, Schmauss müncheni egyetemi tanár azt írja, hogy az „időjárás“ mint fogalom, az emberi elme alkotóképességének egyik legkülönösebb terméke. Olyan nagyfokú tömörítés-

nek és elvonásnak az eredménye, amire kevés példát lehet találni. Lássuk ugyanis pontosabban mi az, amit időjárásnak szoktunk nevezni.

A mindennapi életben időjárásnak hívjuk a zúgó szélvihart, a zuhogó esőt, a félelmes dörgéssel kísért villámcsapást, a csendes fenségben tündöklő szivárványt, a szelíden simogató napsütést együttvéve. Hozzá tartoznak ezenfelül az időjárás jelenségcsoportjához a hőmérsékleti események, a hideg és a meleg váltakozása és egyéb fontos fizikai folyamatok is, amelyekkel alább foglalkozunk. El kell ismernünk, hogy az időjárás valóban a legkülönbélebb jelenségekből tevődik össze és így nagy fogalmi összpontosítás rejlik benne.

Még változatosabbnak találjuk az időjárásban összefoglalt tényezőket, ha a fizikus szemével tekintünk rájuk. Rendkívül érdekes tény, hogy a felsorolt időjárási jelenségek mind más és más fejezetébe tartoznak a fizikának: a szél az aerodinamikába, a hideg és meleg a hőtanba, a mennydörgés a hangtanba, a villám az elektrofizikába, a szivárvány a fénytánba, a napsütés az elektromágneses sugárzások körébe, a felhőképződés a halmazállapotok fizikájába, az esőkeletkezés pedig elsősorban a fizikának egy olyan részébe, amelyre első pillanatban nem is gondolnánk, nevezetesen (mint látni fogjuk) az úgynevezett hődinamikába.

Ezeket a minden tekintetben különbözőeknek látszó jelenségeket csak egy közös mozzanat kapcsolja össze: az, hogy egytől-egyig a Földünket körülvevő levegőben lejátszódó fizikai tünemények. Ezzel eljutottunk az időjárás szabatos fogalmi meghatározásához: időjárásnak nevezzük a légkör összes fizikai jelenségeit együttvéve. Következik ebből, hogy az időjárás titkaiba úgy lehet behatolni, ha Földünk légkörét mint fizikai közeget vizsgáljuk meg. A légkörtan tehát a fizikának egyik különleges alkalmazási területe. Éspedig olyan alkalmazási köre a fizikának, amely roppant nagy térbeli méreteivel, valamint egészen különleges, bonyolult és érdekes viszonyaival tűnik ki.

A természettudománynak ez az ága eleinte igen nehezen indult fejlődésnek. A meteorológia szó ugyan Aristotelesig megy vissza, de a mai valódi meteorológia korát nem évezredekben, még csak nem is évszázadokban számláljuk, hanem csupán évtizedekben. Az időjárás roppant gyakorlati fontossága miatt egészen meglepő, hogy a vele foglalkozó tudomány kialakulása ennyire megkésett. De ennek okát éppen az elmondottakból könnyen lehet megtalálni. Az időjárásnak a hordozója a hatalmas légóceán; az emberiség ennek csak a legalján élt, a légtömeg belsejébe egészen a legutóbbi időkig képtelen volt felszállani. Csupán a légi járó eszközök felfedezése adott lehetőséget a meteorológia kiépítésére. Bizonyos kezdetleges meteorológiai ismeretek már a XIX. század léggömbjeivel is kivívhatók voltak. A légkör kutatás igazi fejlődése azonban a folyó évszázad huszas éveitől kezdve a géprepülés gyors fellendülése nyomán indult meg. Érdekes, hogy a villamosság tan haladása — mint látni fogjuk — szintén egyik nélkülözhetetlen feltétele volt a légkör feltárásának. Végül talán leglényegesebb oka a meteorológia késői felvirágzásának az a sajátos tény, hogy a levegő mint anyag, olyan különös tulajdonságokat mutat, amelyeket csak a fizika bizonyos fejlettebb fokán sikerült megfejteni.

Mi a levegő? Valljuk be, legtöbbször még ma sem tudjuk egészen elhinni, hogy a levegő csakugyan anyag. Illik ugyan a levegőről úgy beszélni, mint létező valóságról, hiszen erre még gyermekkorunkban megtanítottak bennünket. Azt hisszük, hogy ezzel tartozunk a saját műveltségünknek. Azonban legtöbbször mégis anyagtalán módon képzeljük el a levegőt; úgy vélekedünk róla, mint ahogyan egyéb nem tapintható dolgokról, például olyan fogalmakról gondolkodunk, amelyeket az anyagtól vagy a lelki jelenségekből való elvonás útján alkotunk meg magunkban. Kevesen vannak tisztában azzal, hogy a földünket körülölelő légkör roppant anyagtömegekből áll és ebben a sok anyagban hallatlanul nagy erőhatások lappanganak.

Pedig nem kellene különleges műszerek ahhoz, hogy a levegőben lakozó hatalmas fizikai erőkről meggyőződést szerezzünk. A levegő erői török szét derékban az évszázados faóriást, amikor „szélvihar” van, vagyis amikor a levegő anyaga a szokottnál sebesebb mozgást végez. A levegő erői tarolnak le a Tátrában erdőket, a levegő erői törölnek el a trópusi orká-

nők övében egész városokat a Föld színéről. A levegő erői korbácsolják fel az óceán súlyos vizét is és építenek belőle bérházmagasságú hullámdombokat.

Másik bizonyossága a légkörben lakozó jelentékeny erőknek az, hogy a levegő hihetetlenül nagy súlyokat képes hordani. Ennek igazolásául szintén nem kell bonyolult kísérletekhez folyamodnunk. Elég felpillantunk a magasban berregő repülőgépekre. A levegő hordozza a gépben ülő embereknek, a gépen lévő fegyvereknek, üzemanyagoknak és magának a nagy gépnek is a súlyát. Egy korszerű bombavetőgépen a szárnyfelület minden négyzetméterére egy métermázsányi súly nehezedik. A kisszárný vadászgépeken éppenséggel másfél mázsa körül jár az egy négyzetméterre jutó ú. n. „felületi terhelés”. Ez olyan igénybevételt jelent, amely alatt a könnyebb építésű bútorok, pl. gyengébb asztalok azonnal összeomlanának. És a levegő játszva hordozza ezeket a hallatlan terheket! Az ilyen adatok tükröztetik leghívebben, hogy ez a látszólag jelentéktelen anyag milyen hallatlanul nagy súlyoknak a hordozására képes, mihelyt a közeg ellenállási erejét fel tudjuk ébreszteni tetlen szunnyadásából.

Harmadik erőmegnyilvánulása a levegőnek, hogy nyomást fejt ki minden irányban. A levegő nyomását érzékeink ugyan nem veszik tudomásul, de ez nem változtat azon, hogy roppant nagy nyomóerőről van szó. A levegő majdnem pontosan egy kilogramm nyomóerőt fejt ki olyan egészen kis felszínre, mint egy négyzetcentiméter. Már egy bélyegnagyságú felületen több kilogrammos nyomóerő hat. íróasztalunk lapjára a levegő kétszáz mázsás nyomóerővel nehezedik! Hogy az asztal mégsem omlik össze ekkora nyomóerőnek a súlya alatt, azt csak annak köszönhetjük, hogy oldalról is, meg alulról is hasonló roppant erővel feszül neki a levegő. A légnyomás ugyanis nem csak lefelé irányul, mint néha gondoljuk, hanem olyan erő, amellyel a levegő minden vele érintkező testet megtámad. Éppen ebben különbözik a levegő nyomása a szilárd testek csakis lefelé irányuló nyomásától. Egy sziklatömb szintén roppant nyomást gyakorol lefelé, de békében hagyja a környezetében lévő többi tárgyakat. Viszont a levegő és a többi légnemű anyagok felfelé és oldalt is hatalmas nyomóerőt fejtenek ki.

Meg kell tehát állapítanunk, hogy a levegőben igen nagy és kivételes sajátságú erők lakoznak. Ezáltal gyakorlati szempontból is még fontosabbá válik az imént felvetett kérdés, hogy pontosan mi a levegő. A hiteles válasz következőképpen hangzik: a levegő gázoknak a keveréke. Mindazok a különös tulajdonságok, amelyekkel a levegő meglep bennünket, könnyen érthetővé tehetők ebből a meghatározásból.

A gázállapot különben is az anyagnak a legegyszerűbb és legérdekebb megjelenési alakja. A gázok éppen úgy molekulákból és atomokból állnak, mint minden más anyag. De megkülönböztető kiváltságuk a gázoknak, hogy az egyes molekulák teljesen egyedülállóak és jelentékeny távolságok választják el őket egymástól. Ezzel szemben például egy szilárd testben szorosan egymás mellé vannak zsúfolva a molekulák és hatalmas erők kötik őket a helyükhöz.

A molekulaelmélet ma már nem pusztán feltevés. A molekulák méreteit pontosan tudjuk, tömegüket és számukat szabatosan ismerjük, sőt egyes szerves anyagok fonálalakú molekuláit az elektronmikroszkóppal le is fényképezzük. Így abban a helyzetben vagyunk, hogy hiteles képet festhetünk a levegő lényegéről. Ez a kép sokkal színesebb lesz, mint amilyenek eredetileg vártuk.

Már a múlt század óta tudjuk, hogy a levegő molekulái még teljes szélcsend alkalmával sem nyugszanak egyhelyben, hanem úgynevezett hőmozgásuk van. Ez annyit tesz, hogy elképzelhetetlenül élénk cikázó mozgásokat végeznek. Minden egyes molekula más irányban és más sebességgel mozog, — találójában mondva, száguld — mint a többi. A sebességük átlagértékét pontosan ismerjük. Téli időben, a fokos hőmérsékleten a kétatomos oxigénmolekula sebessége 425 méter másodpercenként; a kétatomos nitrogénmolekuláé 445 méter másodpercenként.

A molekulák tehát olyan vágatásban vannak, amely húszszor sebesebb, mint a pusztító szélvihar. A jó vadászpuska golyója süvít ilyenféle sebességgel.

Minden testre, amely a levegővel érintkezik, a lövedéksebességgel rohanó molekulák állandó zápora zúdul. Egy-egy molekula becsapódása a lövedék kicsi volta miatt ugyan nem sokat jelent, de az állandó lövedék-zápor együttvéve tekintélyes nyomóerő alakjában nyilvánul meg. Ezzel megtaláltuk a forrását annak a hatalmas erőnek, amelyet a légnyomás jelenségeiben észlelünk.

A levegőt alkotó molekulák nemcsak idegen testeknek rohannak neki száguldásuk közben, hanem egymásnak is. Említettük, hogy szélcsendes időben minden egyes molekula más irányban és más sebességgel *mozog*. Ennélfogva az összeütközések elkerülhetetlenek. Az ütközés pillanatában mind a két molekula megváltoztatja eredeti irányát és eredeti sebességét. Minden ütközés egy törési pontot jelent a molekula pályáján. A molekulák nem hosszú egyenesek mentén rohannak, hanem apró darabkákból összetevődő zeg-zugos pályát futnak be. Végeredményben a levegőt úgy kell felfognunk, mint szabálytalan irányban szilajon hemzsegő kis lövedékek halmazát.

A molekulák világa két olyan dologban tér el a látható testek világától, ami érdekes és szokatlan a mindennapi gondolkodás számára. Az egyik a méreteknél a hallatlan kicsinysége, a másik a molekuláknak elképesztően nagy létszáma. Egy gyűszűnyi levegőben — egy köbcentiméterben — átlagosan nem kevesebb, mint huszonnyolc trillió molekula foglal helyet, éspedig: huszonegy és fél trillió nitrogénmolekula, hat trillió oxigénmolekula, és jóval kisebb számban vannak még benne vízmolekulák, szénsavmolekulák, végül az úgynevezett nemes gázok büszke magányban fellépő, egyedülálló atomjai.

Ha az apró testecskéknél ebben a példátlan tömegében tájékozódni óhajtunk, akkor olyan kis térfogatú levegőt kell szemügyre vennünk, hogy a molekulák nagy száma már ne zavarjon bennünket, amelyben a molekuláknak a száma már nem ilyen áttekinthetetlenül nagy. A gyűszű belseje még túlságosan tágas tér ehhez, hiszen huszonnyolc trillió részecske sokkal több, mint amit magunk elé tudnánk képzelni. De a gyűszű acéltestében apró lyukacsákat látunk, amelyek a dolgozó ujj levegőzésére valók. Egy ilyen gyűszűlyukacsának az átmérője néhány tized milliméter. Képzeljünk most olyan kockát magunk elé, amelynek mindegyik éle még tízszer kisebb: egy század milliméter. Az ilyen kocka a gyűszű falának csatornácskáin éppen olyan kényelmesen áthaladhatna, mint ahogyan egy gyalogjáró bőségesen keresztülfér a budai Alagúton. Tekintsük azt a levegőmennyiséget, amely ebben a századmiliméternyi élű kockában foglal helyet!

Persze csak kellő nagyításban tekinthetjük meg. Gondoljuk tehát a századmiliméter élű kockát háznagyságig megnövelve úgy, hogy a kocka élhosszúsága 10 méterre növekedjék. Ez milliószoros nagyítást jelent. A gyűszűnyíláskán átsuhanó levegőkockából ezáltal hatalmas csarnok lett, amelyet a levegő molekulái népesítenek be. Ebben a nagyításban a molekulák még éppen csak, hogy láthatókká válnak, mert átmérőjük most is csak háromtized milliméter. Még mindig nagyon sok is van belőlük: a csarnokban huszonnyolc milliárd ilyen apró molekula található. Csarnokunk tehát finom porszemecskékké van elhalmozva, de ezek aránylag nagy távolságra esnek egymástól. Átlag három milliméter választja most el egyik molekulát a pillanatnyi szomszédjaitól. Egy-egy gyűszűnyi levegőmintában már csak 28 molekula látható. Legvalószínűbb, hogy a gyűszűvel csak nitrogénmolekulákat és oxigénmolekulákat halászunk ki. A vízmolekula elég nagy ritkaság: nyáron általában minden második gyűszűbe jut belőle egyetlen példány; télen még ennyi sincsen. Ugyanílyen csekélyek annak az esélyei, hogy egy nemesgáz-atomot, vagy egy szénsavmolekulát fogunk ki magunknak a gyűszűvel.

Ha tehát a levegőt alkotó láthatatlanul kicsiny molekulákat a tudomány varázstükrével felnagyítjuk egészen a látható méretekig, akkor a következő kép tárul elénk, A kiválasztott kis légmennyiség molekulái úgy jelennek meg, mintha finom és vegyes összetételű porkeverék szemecskéi hemzsegnének a csarnokká nagyított térben. Mekkora pályát futnak be a porszemek, amíg egy társukkal összeütköznek? Kerekén éppen egy deciméternyi utat. Roppant sebességükből következik, hogy ehhez az úthoz nagyon kevés időre van szükségük. Ezért az összeütközések száma hallatlanul nagy: néhány milliárd ütközés ér a levegőben minden molekulát minden másodpercben. A levegő molekulái tehát szédítő élénkséggel cikáznak!

Képzeloerőnket a levegő valóságos mozgásai mindenképpen kemény feladat elé állították. Először meg kellett nagyítanunk a térbeli méreteket, hogy a molekulák világába bepillanthassunk. Ez sikerült is, de most meg a molekulák duhaj időbeli játéka szédít meg bennünket! A teret milliószerosan tágítanunk, az idő pergését viszont százmilliószor lassítanunk kellene, hogy szemlélni is tudjuk azt, amiben a tudomány a levegő lényegét találta meg.

Ezek az elképzelési nehézségek azonban semmiképp sem érintik maguknak a feltárt tényeknek a megbízhatóságát. A rendkívül kicsinek és a rendkívül sebesnek ebben a világában a számítások szilárd talaján állunk és minden, amit ezen a téren kinyomoztunk, kísérleti igazolásnak vehető alá.

Az összes időjárás jelenségeknek a hátterében az a különös molekula-világ áll, amelybe most futólag beletekintettünk. Az előadottakból már könnyű lesz az időjárás néhány titokzatosnak tűnő sajátosságát érthetővé tennünk.

A levegő lényegét a molekulák liliputorszázában kellett megkeresnünk. Viszont a levegő tüneményei, amelyeket időjárásnak hívunk, óriási léptékűek és azonnal a rendkívül nagy méretek birodalmába vezetnek termünk. Az időjárás mindannapos jelenségei, az esők, szélviharok, időjavulások stb. egyszerre játszódnak le hatalmas területeken, olykor több millió négyzetkilóméteren. A nagyoknak és a kicsinek a végletei tehát összefonódnak, midőn az időjárás kérdéseit vesszük vizsgálat alá.

Légkörünk a Föld szilárd testét több száz kilométer vastagságban öleli körül, felfelé egyre ritkuló gázburkolat alakjában. Ez a hatalmas levegőtömeg három, egymástól merőben különböző tartományra tagolódik. A legalsó tartomány átlagosan 12 kilométer magasságig terjed. Ez az ún. troposzféra a felhőknek és időváltozásoknak a birodalma, amelybe a földi szerves élet még mindenüvé felhatol. Felette következik a középső légtartomány, a sztratoszféra, egykristálytisza levegőjű jéghideg világ, amelyben felhők már nincsenek és élőlények—a mesterséges eszközökkel felszálló emberen kívül—soha nem jártak. Az ember is csak a sztratoszféra alsó részeiben tett rövid látogatásokat. A személyes felszállások eddig 23 km magasságig hatoltak fel. Az utas nélküli műszeres léggömbök azonban már 35 km-ig eljutottak. Mintegy 90 km magasságban kezdődik a légkör legfelső és legérdekesebb tartománya, az ionoszféra, amely csodálatos villamos jelenségeknek a birodalma. Ennek megértéséhez azt kell tudnunk, hogy a legfelső légrétegek védtelenül vannak kitéve a Napról érkező hatalmas sugárzási hatásoknak. Ezek a sugárzások a molekulák bizonyos részét villamos állapotba hozzák (ionosítják).

Érdekes, hogy az ionoszféráról aránylag jóval többet tudunk, mint a hozzánk közelebb lévő sztratoszféra felső rétegeiről. Ezt éppen annak köszönjük, hogy az ionoszféra villamos állapotban van és így villamos műszerekkel ideiemről is átkutatható. Az ionoszférakutatás legeredményesebb módja az úgynevezett villamos visszhangok (rádióvisszhangok) tanulmányozásán alapszik. Rövidhullámú rádióadások az ionoszférából úgy térnek vissza, mint amikor a fény útjába egy tükröt állítunk. A kísérleti hullámok változtatásával a visszatérő sugarak útja is módosul. A változásból kiszámítható az

ionoszféra villamos töltése, levegőjének sűrűsége, nyomása, sőt hozzávetőleg még a hőfoka is. Csak a legérdekesebb eredményt említjük: az ionoszféra a földi légkörnek a legmelegebb része. Ezt a meleget a magasban lejátszódó villamos folyamatok tartják fenn.

A bennünket közvetlenül érintő időesemények mind a legalsó rétegben, a troposzférában játszódnak le. A mindennapos értelemben vett időjárás színhelye ezek szerint egy olyan térfogat, amelynek a Föld felszínével egyenlő a vízszintes kiterjedése (kerekén 509 millió négyzetkilométer), ellenben csak 12 kilométer a függőleges magassága.

Az időjárás birodalma tehát roppant széles, de aránylag nagyon lapos. Kellő fogalmat nyújt erről a következő hasonlat. Egy előadási célokhoz való nagy földgömb, amelynek 64 cm a sugara, a mi Földünket százmilliószoros kicsinyítésben állítja szemünk elé. Ebben a léptékben a troposzféra vastagsága alig több, mint tizedmilliméter, vagyis azáltal volna szemléltethető, hogy a földgömböt finom selyempapirosba csomagoljuk. A selyempapiros felelne meg annak az igen vékony gömbhéjnek, amelyben az időesemények végbemennek. Függőleges irányban szinte jelentéktelen, vízszintes irányban pedig igen nagy távlatokat megengedő térfogatban zajlik le az a hatalmas színjáték, amit időjárásnak nevezünk.

Az egyes időjárási folyamatok hatalmas tömegű anyagot mozgatnak meg és ezáltal a természet kiapadhatatlannak látszó erői óriási fizikai munkát végeznek. Nincsen olyan nap, hogy Európának valamelyik részében ne játszódnék le egy közepesen fejlett ú. n. szélbetörés. Ezen azt kell érteni, hogy hatalmas térfogatot kitöltő levegőmennyiség nagy sebességgel bezúdul olyan vidék fölé, ahol azelőtt légnyugalom uralkodott* Az átlagos méretű légbetörés egyszerre 2000 km hosszú és 500 km széles sávban játszódik le, tehát egymillió négyzetkilométernyi területen. A szélbetörés alkalmával nem az egész légkör mozog, hanem a felettünk lévő légtömegnek körülbelül az alsó fele.

Ebből könnyű kiszámítani a légbetörésben száguldó levegő mennyiségét. Említettük, hogy egy négyzetcentiméter felett lévő összes levegőnek a tömege (a talajtól fel a légkör külső határáig) éppen egy kilogramm. A mozgó rész tehát fél kilogramm minden négyzetcentiméter felett. Ha ezt megszorozzuk az egymillió négyzetkilométerben lévő négyzetcentiméterek számával, megkapjuk a végeredményt: a légbetörésben rohanó levegő egész tömege ötbillió tonna! Tévedünk tehát, amikor a levegőt olyan jelentéktelen anyagnak gondoljuk, hogy azt véljük, még nagy térfogatokban is szinte elhanyagolhatóan kevés van belőle. Egy légbetörés levegőanyaga nagyobb tömegű, mint amennyi a Magas Tátra hegyvonulatának az egész kötömege. A légbetörés tehát több anyagot mozgat, mint ha a Tátrát teljes egészében kiemelné a helyéből. Persze ennek a légtömegnek néhány ezerszer nagyobb térfogata van, mivel a levegőnek ennyiszor csekélyebb a sűrűsége.

De ez még korántsem minden, amit a levegő roppant arányú tömeg-áthelyeződéseiről tudomásul kell vennünk. Hasonlóan elképesztő mennyiségű anyag száguld minden kiadósabb esőnek keletkezése alkalmával is, azonban ezúttal nem vízszintes irányban, hanem függőlegesen felfelé!

A nagyarányú felszálló mozgások nélkülözhetetlenek az eső képződéséhez. Ezek visznek fel kellő mennyiségű vízgőzt a felhőbe. A vízgőz azonban még csak légnemű állapotú anyag, amelyből csupán erős lehűléskor keletkezik folyékony víz vagy szilárd hókristály. Többnyire 20—30 fokra lehűlés szükséges ehhez. Még hozzá percek vagy negyedórákon belül kell a vízgőznek ilyen hatalmasan lehűlnie. Ezt a kivételes mértékű lehűlést szintén a felszálló légmozgás biztosítja: a felszálló levegő hődinamikai okok folytán olyan sokat veszít a hőmérsékletéből, amihez hasonlóan más időfolyamatokban nincsen példa: kerekén annyiszor tízfokot hűl, ahány kilométerrel emelkedik. Négy kilométer magasra felszálló légoszlopban már negyven fokos lehűlés keletkezik! Ez a hatalmas hőtani folyamat áll a nagy nyári záporosók háttérben.

A vízgőz azonban nem egyedül száll fel az emelkedő légoszlopokban, hanem sok levegővel együtt. Említettük, hogy a levegőben aránylag kevés vízmolekula van jelen. Átlagosan kétszázszor annyi nitrogénnek és oxigénnek kell a felhőoszlopokban néhány kilométer magasságba felszállnia, mint anennyi vízanyag a felhőben kicsapódhatik. Világos tehát, hogy az eső keletkezésekor a légkör erői roppant nagy emelési munkát végeznek. Adatainkból kiszámítható, hogy egy átlagos csendes esőnek a képződéséhez kerekén fél trillió méterkilogramm emelési munka szükséges. Ennyi munkával a Tátrát néhány száz méter magasságba lehetne felemelni.

Ilyen adatok hallatára eleve összeomlik minden olyan reménység, hogy az eső keletkezésébe műszaki eszközökkel beleavatkozhatunk. Roppant fontossága volna éppen Magyarországon annak, ha száraz nyarainkon esőt tudnánk magunknak készíteni, vagy árvizes tavaszokon az eső hullását meg tudnók állítani. Ehhez azonban olyan munkavégzés lenne szükséges, amely messze felülmúlja az emberi lehetőségeket. Az eső, bár látszólag magától és erő kifejtés nélkül keletkezik, a valóságban a természet erőinek éppen egyik leghatalmasabb megnyilvánulása. Igaz, fenséges csendben és nyugalomban játszódik ez le, de éppen emiatt is emberi erővel teljesen utánozhatatlan és pótolhatatlan folyamat.

A mindennapi szemlélőt nagyon megtéveszti az, hogy az időjárás egyes más folyamatai nagy zajjal mennek végbe és közvetlen erő kifejtésnek a benyomásával járnak együtt. A szélvihar erejét és romboló hatalmát mindenki tudomásul veszi. Ezért senki sem álmodik arról, hogy a szélbetöréseket emberi beavatkozással meg lehessen fékezni. De az eső olyan csendesen, olyan észrevétlenül, szinte úgy mondhatnók, látszólag magától alakul ki, hogy az emberek nem sejteneik mögötte hatalmas munkavégző folyamatokat. Csak a meteorológus pontos számításai mutatják meg, hogy jóval nagyobb munkavégzés kellene az esőképződés megakadályozásához vagy műszaki létrehozásához, mint a szélvihar szilaj futásának a megállításához!

A molekulavilág tényeinek ismerete más tekintetben is módosítja az időjárással kapcsolatos nézeteinket. Magyarazatot nyújt többek közt arra a különös tényre, hogy az időjárás egyes igen fontos folyamatai a szemünk elől teljesen elrejtve játszódnak le, ami különben a meteorológia haladását hosszú időn át nagyon megnehezítette.

Ugyanis az időjárás nem csak azokból a feltűnő jelenségekből áll, amelyeket a mindennapi életben is minduntalan tudomásul veszünk. A tomboló szélviharon, zuhogó esőn, vakító villámon kívül még sok egyéb is történik a légkörben, amit nehezebb észrevenni, sőt műszerek nélkül meg sem lehetne állapítani. Legérdekesebb azonban az, hogy ezek az elrejtett folyamatok sokszor még fontosabb tényezői az időjárás kialakulásának, mint a nagy feltűnéssel járó időesemények.

Meggyőző példa erre a vízgőz elpárolgása. Az eső és a havazás abból a vízgőzből keletkezik, amely a föld felszínéről és a tengerek tükréről szinte észrevétlen módon illan el. Az összes folyókat ez a láthatatlan elpárolgás táplálja, a nagy árvizek egész óriási anyagtömegét is mind az észrevétlen elpárolgás szolgáltatja.

A földkerekségen egy év alatt 510 billió tonna vízanyag hull le eső és hó alakjában. Viszont a légkörben lévő egész vízkészlet „mindössze” tizenhárom és fél billió tonna, vagyis az évente lehulló mennyiségnek csupán negyvened része. Egy évben tehát negyvenszer annyi víz esik ki a légkörből, mint amennyi egyidőben benne van. Ebből az következik, hogy a földi elpárolgásnak egy év alatt negyven alkalommal teljesen meg kell újítania a légkör egész vízkészletét, másszóval, hogy kilenc nap és néhány óra alatt annyi víznek kell a földről elpárolognia, amennyi vízgőz a levegőben és amennyi folyékony víz a felhőkben együttvéve jelen van. A víz elpárolgásának és lehullásának ezt a játékát a földi víz körfolyamatának szokás nevezni. Ez a körfolyamat sokkal élénkebben játszódik le, mint régebben gondolták, hiszen kilenc nap alatt tizenhárom és fél billió tonna anyag száll fel a felhőkbe és ugyanannyi hull onnan le a földkerekség különböző tájain.

Lenyűgöző arányokban áll tehát előttünk a víz légköri körfolyamata. A földi vizek elpárolognak, páraalakban felszállnak a levegőbe: ez a körfolyamatnak a felszálló ága. Fent a magasban a vízpára halmazállapot-változást végez, felhő és eső válik belőle, az esőcseppek visszahullanak a földre: ez a folyamatnak a leszálló ága. A körfolyamatnak az első fele teljes észrevétlenségben játszódik le, az elpárolgást csak műszerekkel lehet kimutatni és megmérni. A folyamatnak a második fele viszont a legfeltűnőbb módon megy végbe; a borulást, sötétedést és esőt mindenki tudomásul veszi. Pedig bizonyos, hogy Ugyanannyi víz megy fel a légkörbe észrevétlen elpárolgás útján, mint amennyi lehull nagyon észrevehető módon eső és havazás alakjában.

Hogy ugyanannak a körfolyamatnak az egyik ága szinte észrevehetetlenül, a másik ága meg nagyon is feltűnően játszódik le, annak magyarázata ismét a molekulaelméletből adódik. Folyamatunknak a felszálló ága elképzelhetetlenül finom elosztásban, molekulánként elkülönítve viszi fel az anyagot a magasba és emiatt nem észlelhető; a lezúdulás ellenben nagy molekulahalmazokban megy végbe (még a legkisebb esőcsepp is százezer billió molekulából áll!) és emiatt nagyon könnyen észlelhető. Bizonyos azonban, hogy a körfolyamatnak a felszálló ága éppen olyan fontos, mint a leszálló ága. Az észrevétlen elpárolgás semmivel sem kevésbé előkelő tényezője a légkör világnak, mint a szembetűnő hóvihár vagy felhőszakadás.

Van a légkörben egy villamos körfolyamat is. A hevesen felszálló légoszlopokban az esőcseppek csendes villamos feltöltődést szenvednek el. Ez is teljes észrevétlenségben játszódik le, legtöbb ember még csak beszélni sem hallott róla soha. De ha a feltöltődés kellően erőssé válik, akkor ebből pusztító villámcsapás keletkezik, tehát a természeti világ egyik legfélelmesebb és legfeltűnőbb jelensége, amelynek az észrevehetetlensége felett már igazán nem panaszkodhatunk. Ebben az esetben is egy körfolyamat játszódik le a levegőben ismét oly módon, hogy az egyik szakasza (a feltöltődés) a teljes észrevétlenség homályában húzódik meg, ellenben a másik szakasza (a kisülés) a legfeltűnőbb és legijesztőbb benyomást váltja ki bennünk. Pedig nyilvánvaló, hogy a zivataros légszintek csendes villamos feltöltődése éppen olyan fontos folyamat, mint a villámkisülés, amely nélküle egyáltalán létre sem jöhetne.

Világos ezek után, hogy az időjárás lényeges folyamatai nemcsak azokat a jelenségeket ölelik fel, amelyeket a mindennapi beszédben az időjáráshoz szólasz számítani. Az idő nem csak szélből, esőből, napfényből, hőjelenségekből tevődik össze. Ehhez csatlakoznak még az elpárolgás és a csendes villamos jelenségek észrevétlen folyamatai, de nem mint mellékes mozzanatok, hanem mint a többivel egyenrangú, nagyhatású tényezők. A légkör tünetényei csak látszólag egyszerűek, mögöttük bonyolult folyamatok húzódnak meg, amelyeket első pillanatban még csak sejtetni sem lehet.

Aki ezeken a fejtegetéseken végigfutott, úgy véljük talán teljesebb és színesebb képet alkothat magának az időjárásról és a légkörről, mint aminő a közfelfogásban a mindennapos látszat csalóka tükrözése nyomán kialakult.

A légkör bonyolult géphez hasonlítható, amely óriási méretű és szüntelenül dolgozik. A gépnek egyes feltűnőbb alkotórészeit mindenki látja, dübörgésüket mindenki hallja, lenyűgöző hatalmukat mindannyian tapasztaljuk. De a légkör valódi élete mégis el van fátyolozva a mindennapi szemlélet elől. A gépezet egyes leglényegesebb részei nem láthatók; teljes csendben, de annál hatékonyabban működnek. Sőt éppen ezek a csendes folyamatok képviselnek olyan arányú munkateljesítményt, amely mellett mindegyik emberi lehetőség eltörlődik és a műszaki beavatkozásnak még a távoli reménye is elhalványul.

A földi légkör egész gépezete telve van nagyszerű finomságokkal. Az elképzelhetetlenül kicsi és az elképzelhetetlenül nagy méretek szédítő szélsőségei teljes összhangban egyesülnek benne. Aki felületesen tekinti az időjárást, az sokszor unalmasnak is találhatja. A kutató elmélyedő szeme hódolva pillant bele a természet folyamatainak kifogyhatatlan szépségébe.

AUJESZKY LÁSZLÓ